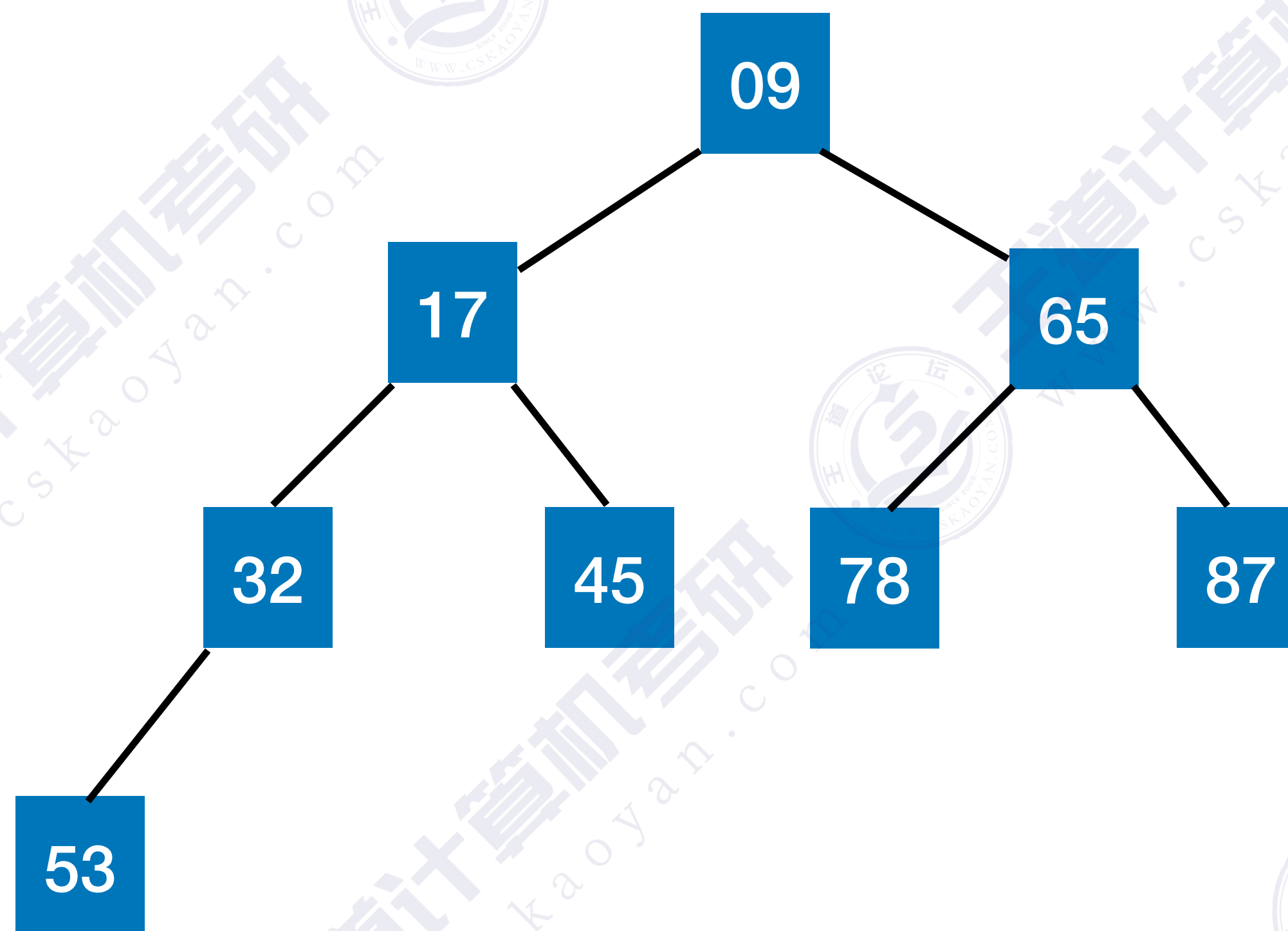
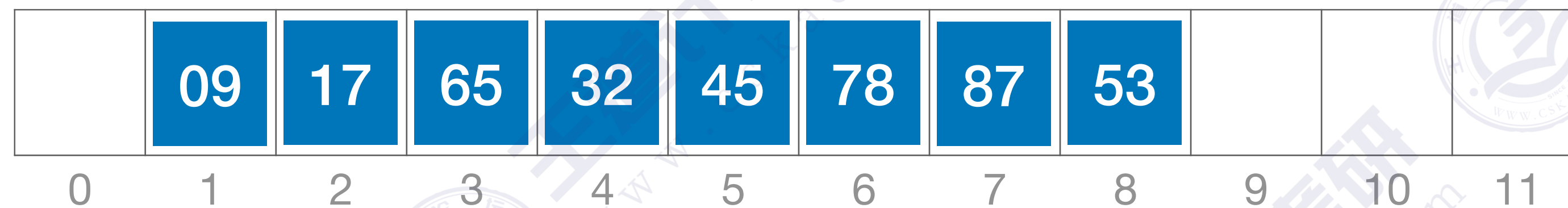


本节内容

堆 插入删除

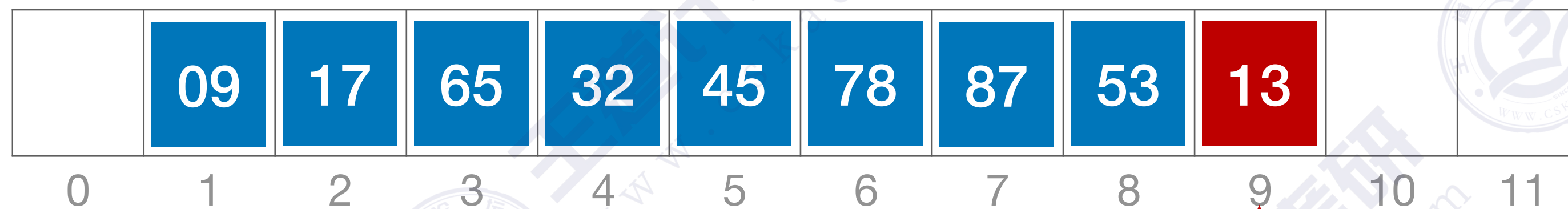
在堆中插入新元素

小根堆

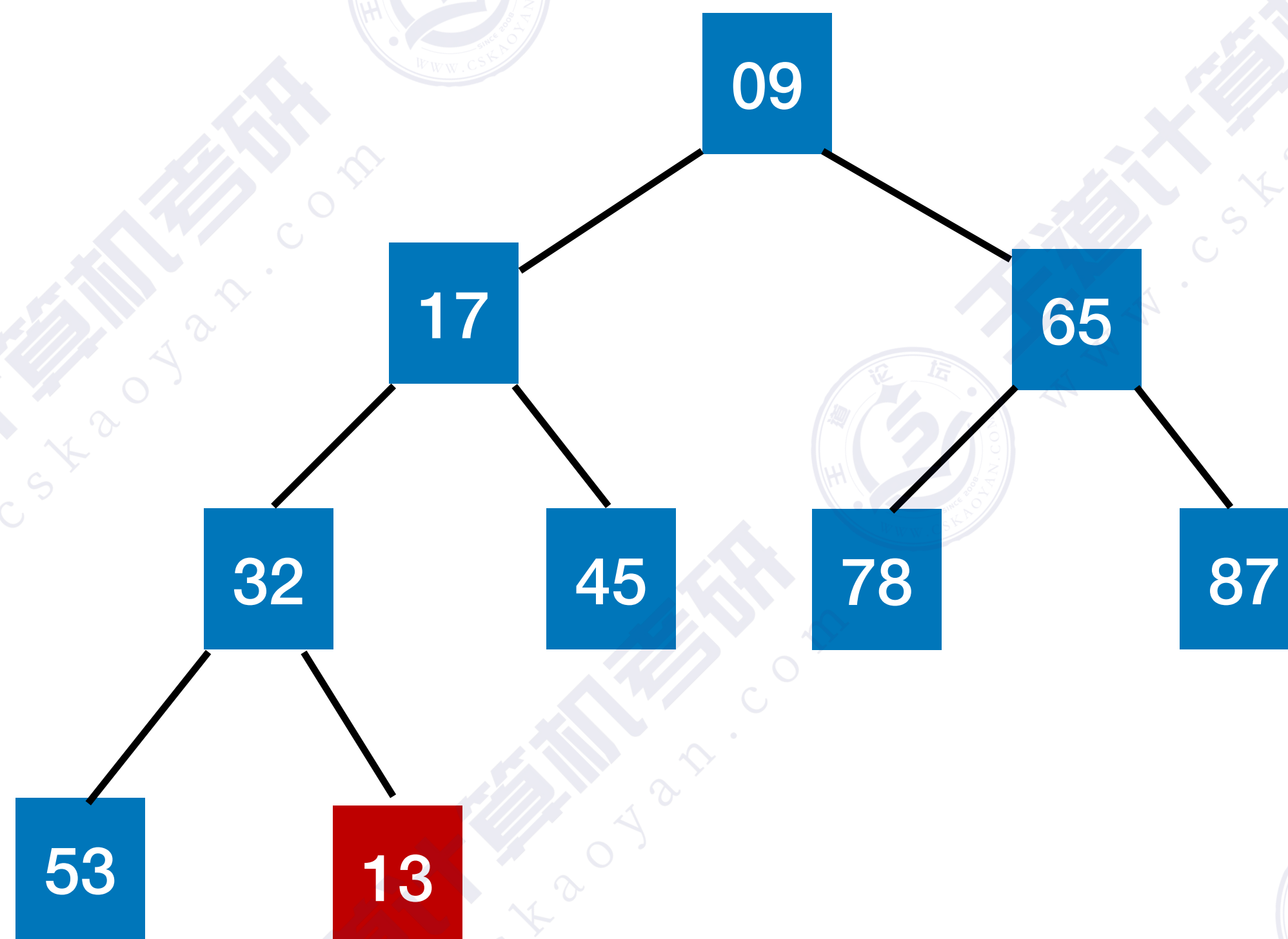


在堆中插入新元素

小根堆



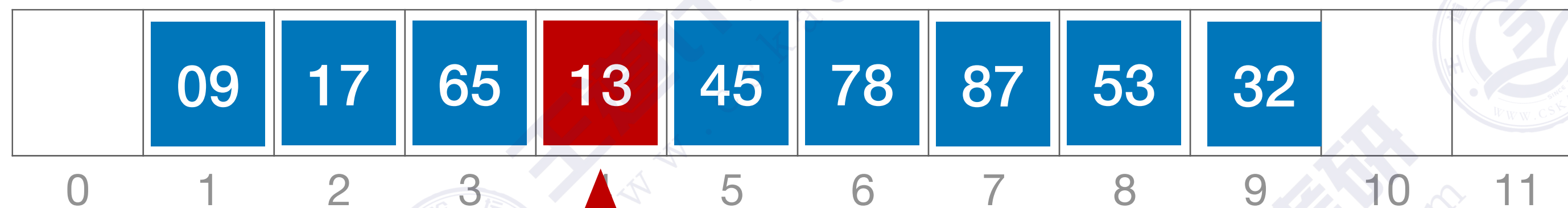
- i 的左孩子 — $2i$
- i 的右孩子 — $2i+1$
- i 的父节点 — $\lfloor i/2 \rfloor$



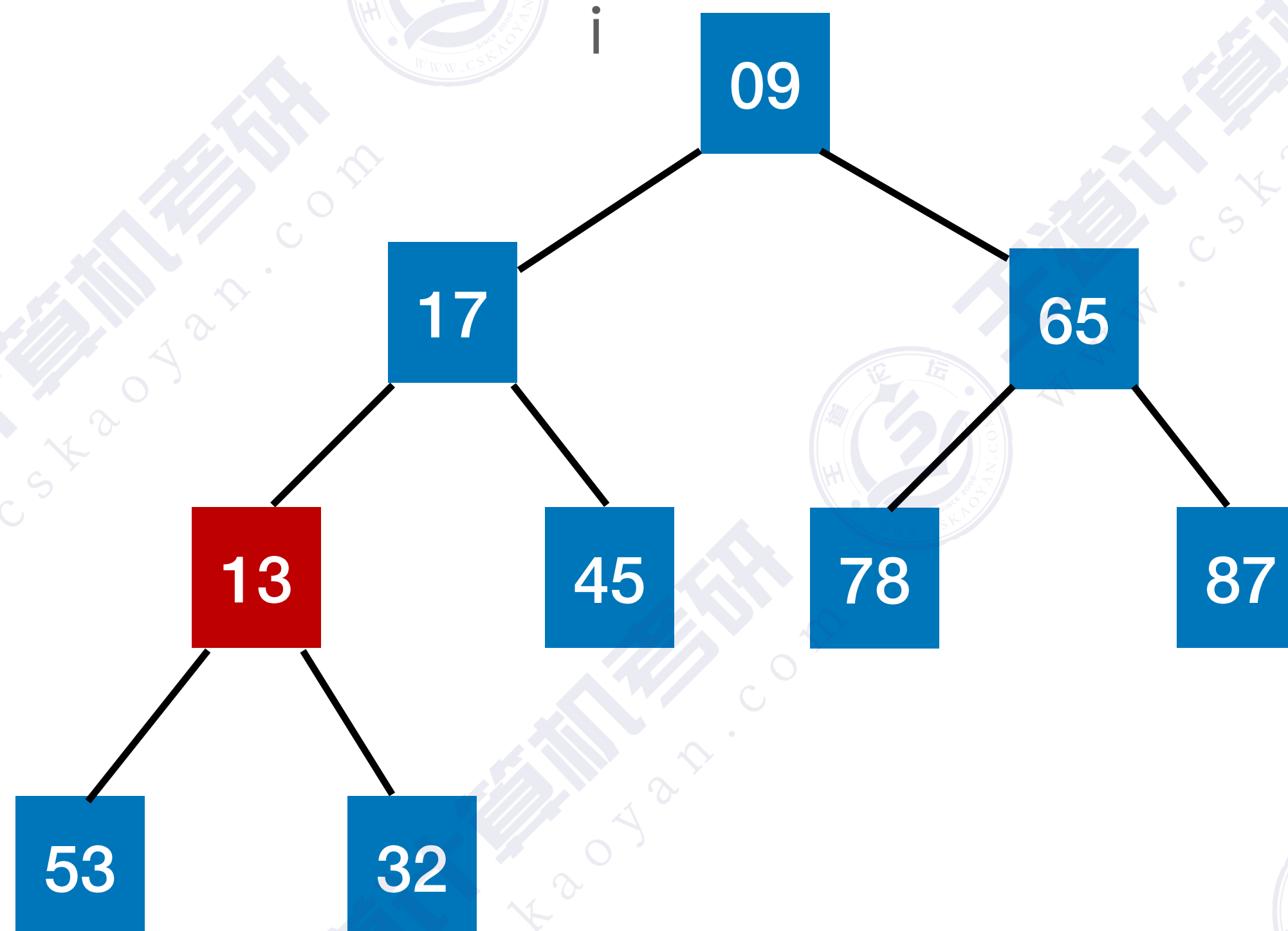
对于小根堆，新元素放到表尾，与父节点对比，若新元素比父节点更小，则将二者互换。新元素就这样一路“上升”，直到无法继续上升为止

在堆中插入新元素

小根堆



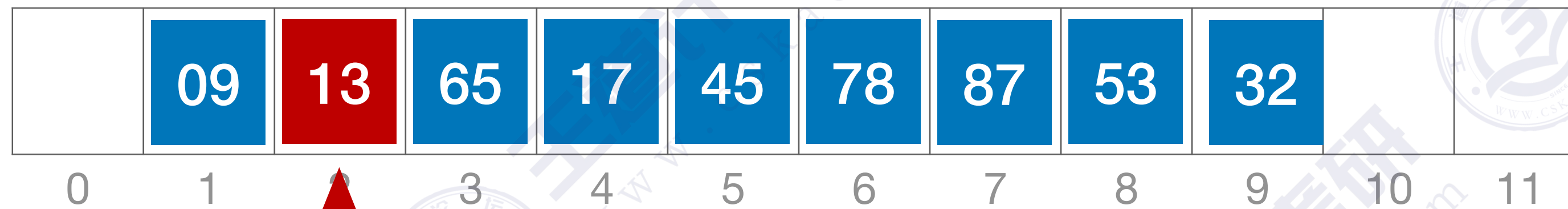
- i 的左孩子 —— $2i$
- i 的右孩子 —— $2i+1$
- i 的父节点 —— $\lfloor i/2 \rfloor$



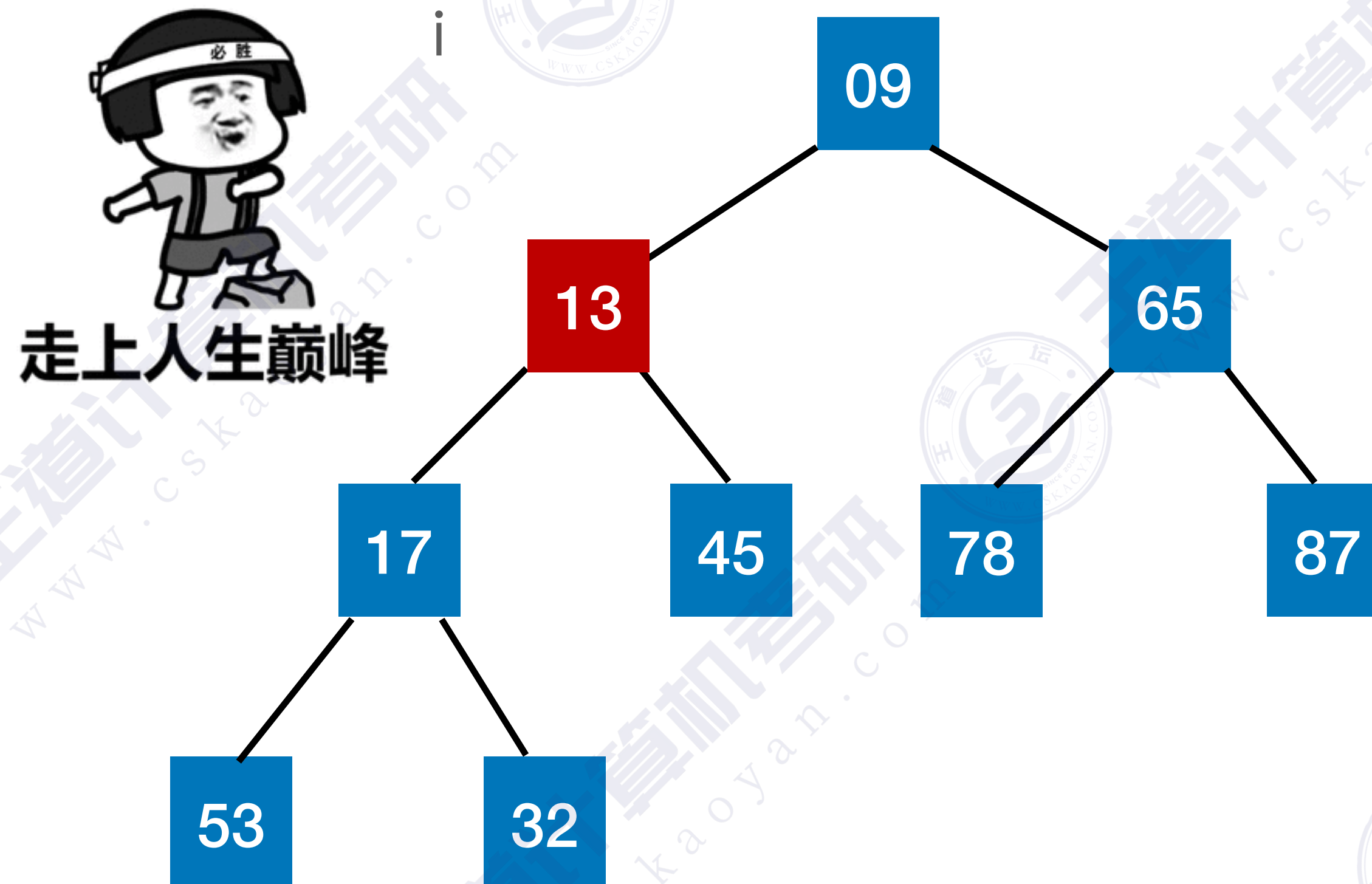
对于小根堆，新元素放到表尾，与父节点对比，若新元素比父节点更小，则将二者互换。新元素就这样一路“上升”，直到无法继续上升为止

在堆中插入新元素

小根堆



- i 的左孩子 —— $2i$
- i 的右孩子 —— $2i+1$
- i 的父节点 —— $\lfloor i/2 \rfloor$

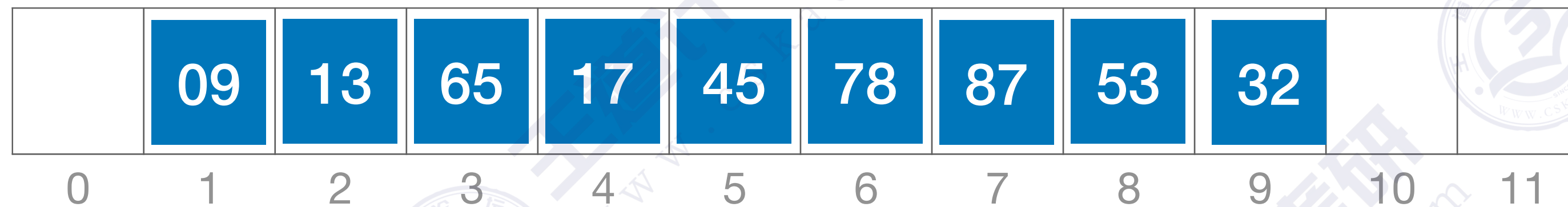


对于小根堆，新元素放到表尾，与父节点对比，若新元素比父节点更小，则将二者互换。新元素就这样一路“上升”，直到无法继续上升为止

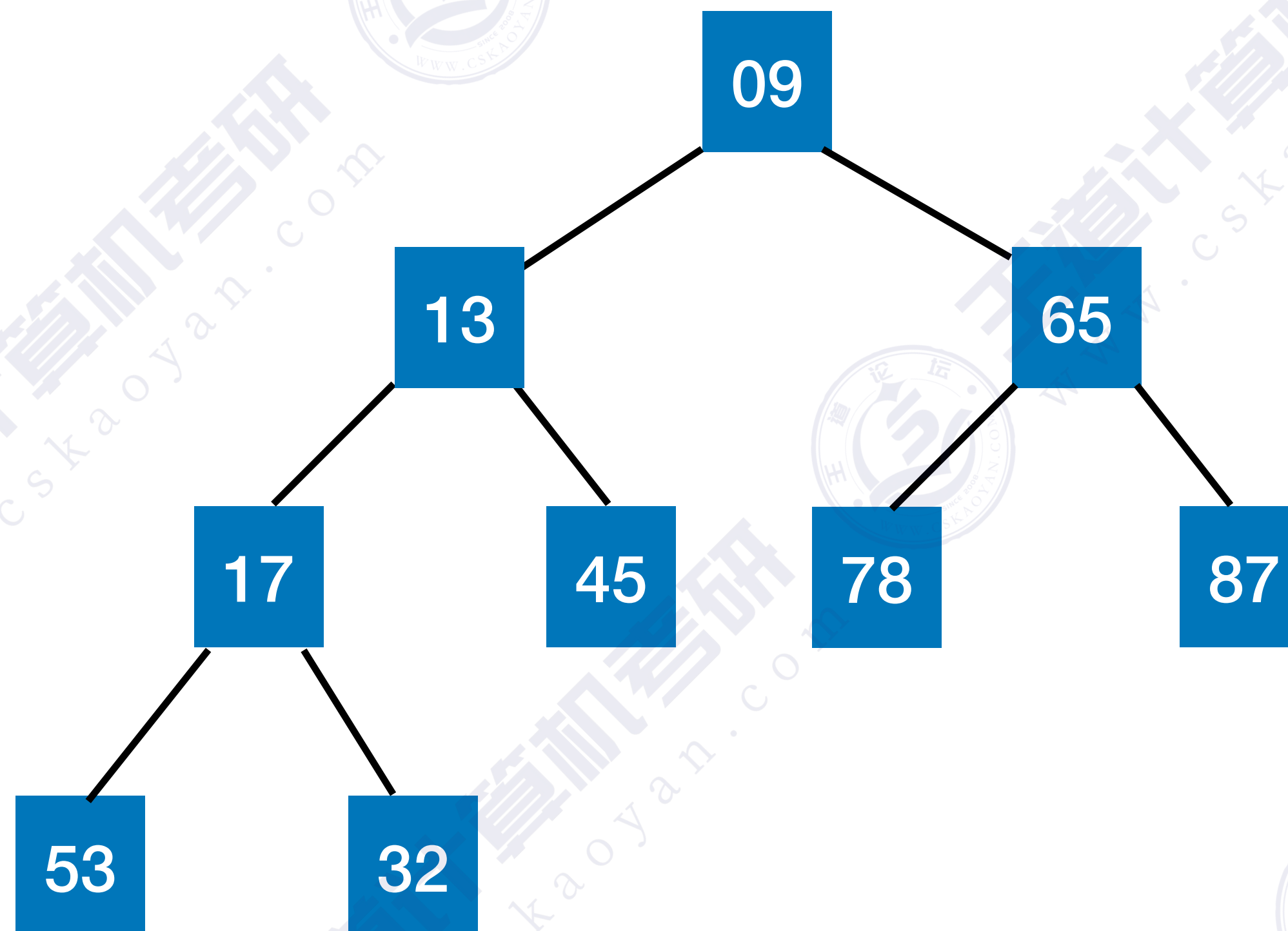
对比关键字的次数 = 3次

在堆中插入新元素

小根堆



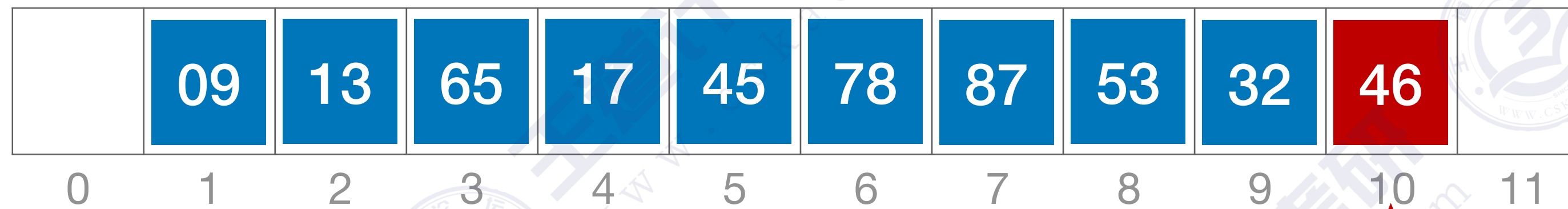
- i 的左孩子 —— $2i$
- i 的右孩子 —— $2i+1$
- i 的父节点 —— $\lfloor i/2 \rfloor$



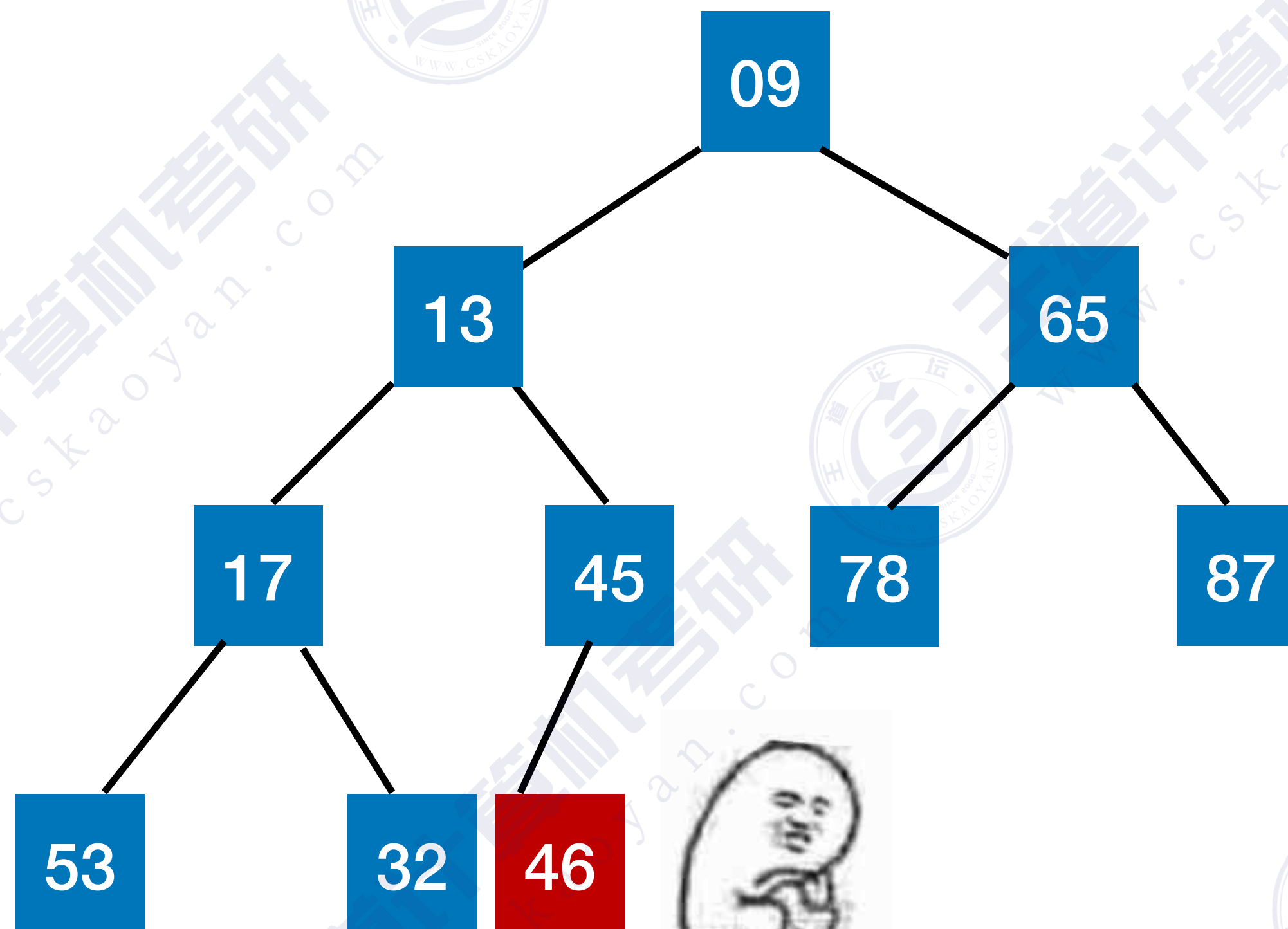
对于**小根堆**，新元素放到表尾，与父节点对比，若**新元素**比父节点**更小**，则将二者互换。新元素就这样一路“**上升**”，直到无法继续上升为止

在堆中插入新元素

小根堆

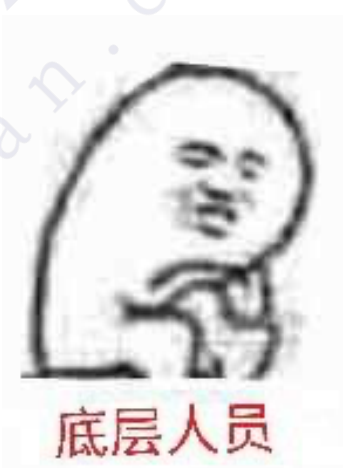


- i 的左孩子 $2i$
- i 的右孩子 $2i+1$
- i 的父节点 $\lfloor i/2 \rfloor$



对于小根堆，新元素放到表尾，与父节点对比，若新元素比父节点更小，则将二者互换。新元素就这样一路“上升”，直到无法继续上升为止

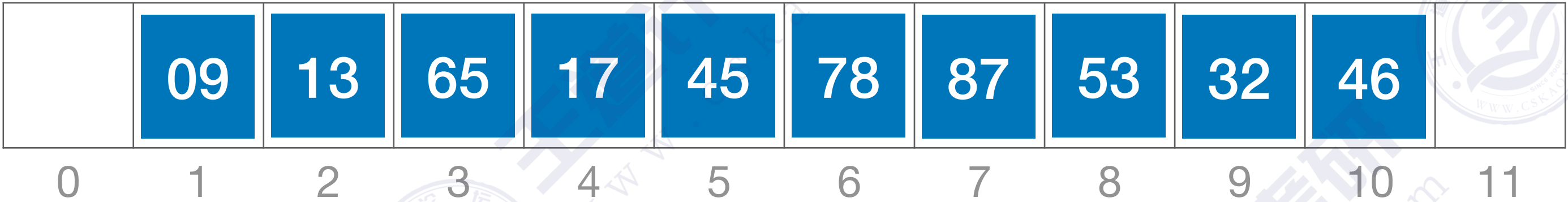
对比关键字的次数 = 1次



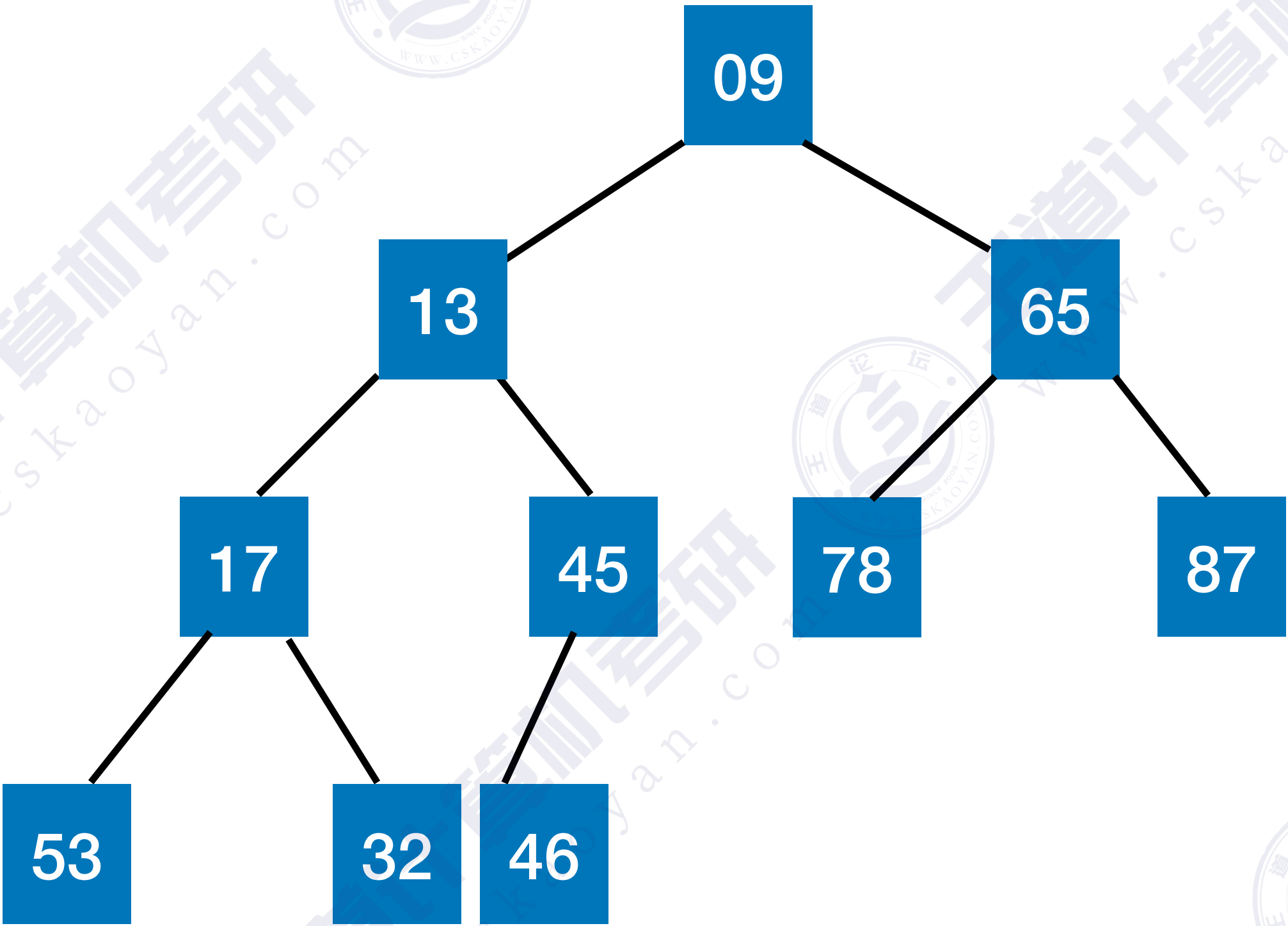
在堆中删除元素



小根堆

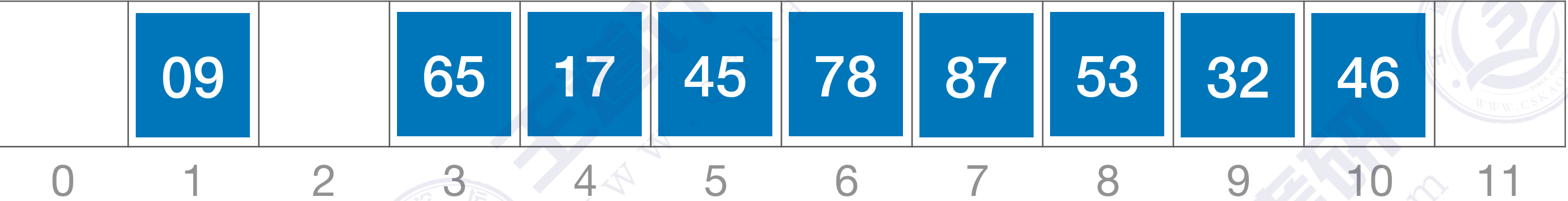


- i 的左孩子 $2i$
- i 的右孩子 $2i+1$
- i 的父节点 $\lfloor i/2 \rfloor$

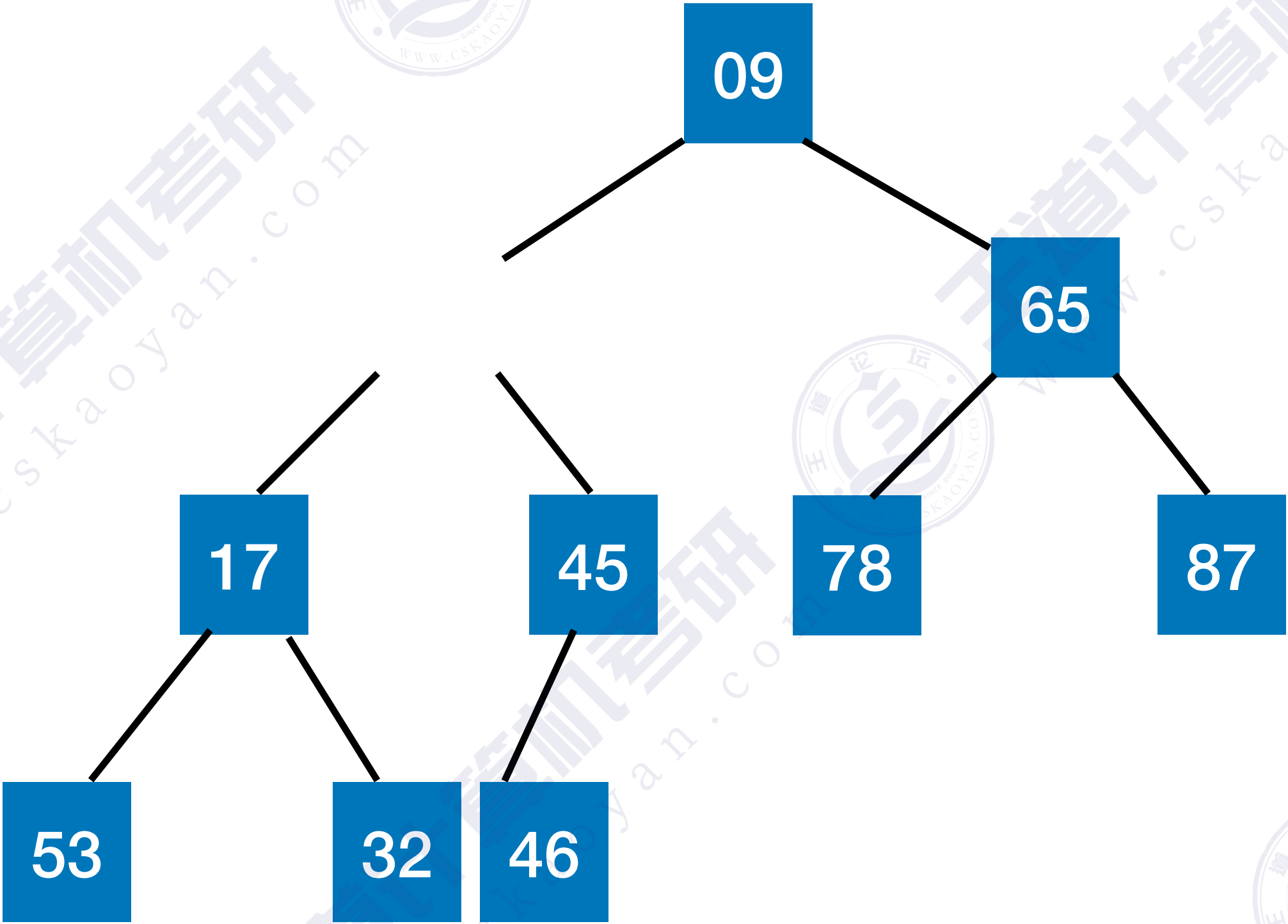


在堆中删除元素

小根堆

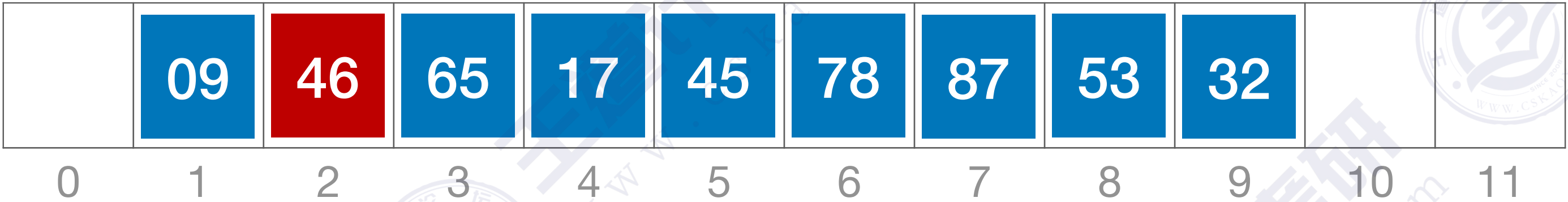


- i 的左孩子 $2i$
- i 的右孩子 $2i+1$
- i 的父节点 $\lfloor i/2 \rfloor$

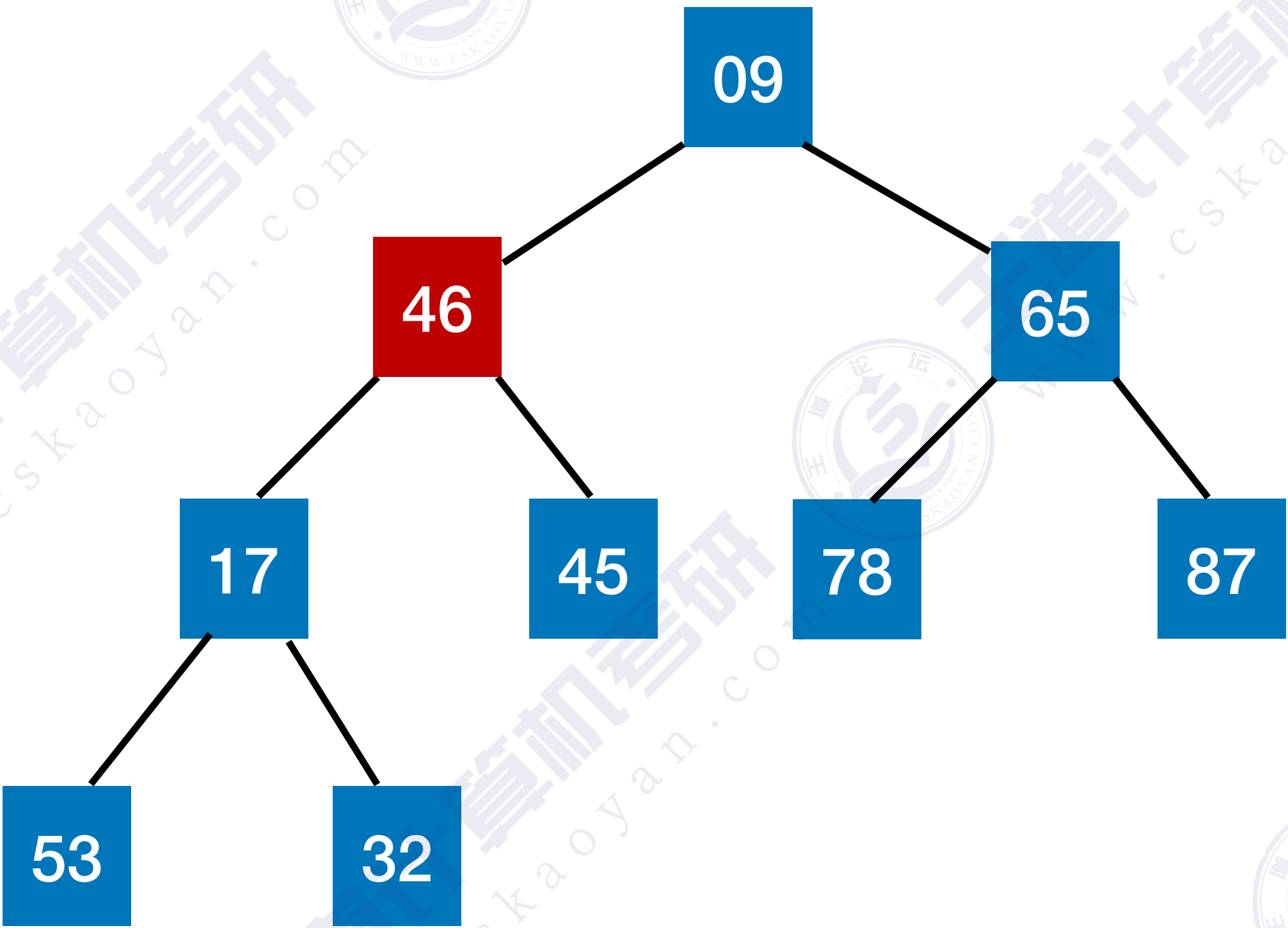


在堆中删除元素

小根堆



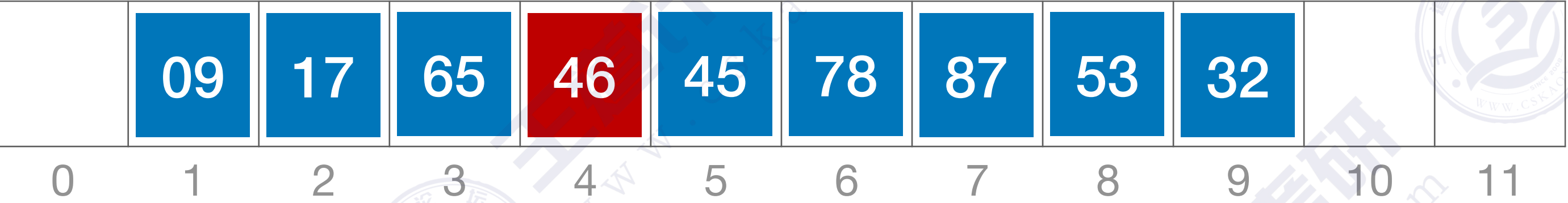
- i 的左孩子 $2i$
- i 的右孩子 $2i+1$
- i 的父节点 $\lfloor i/2 \rfloor$



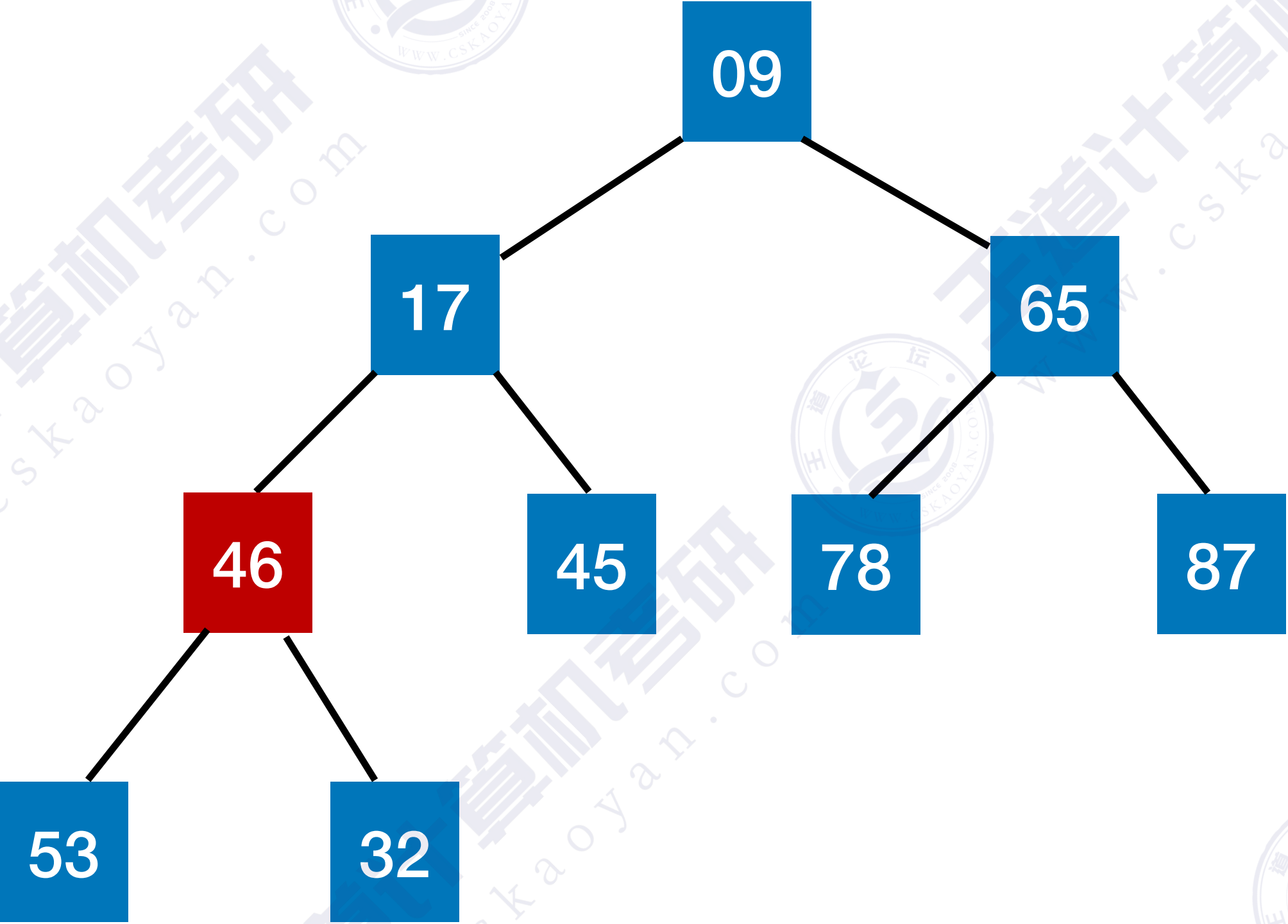
被删除的元素用堆底元素替代，然后让该元素不断“下坠”，直到无法下坠为止

在堆中删除元素

小根堆



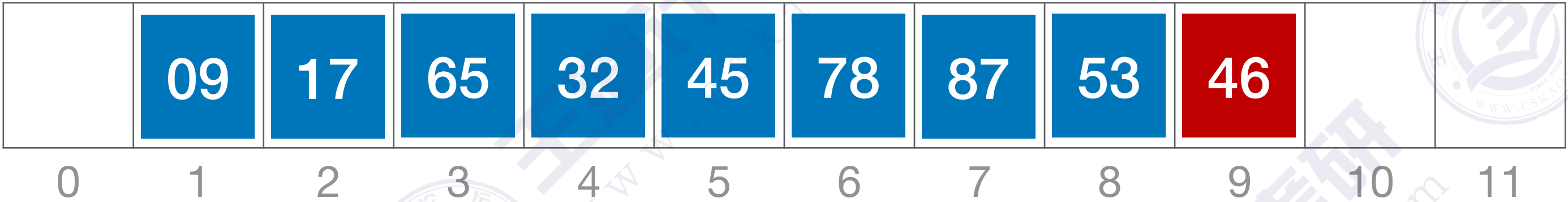
- i 的左孩子 $2i$
- i 的右孩子 $2i+1$
- i 的父节点 $\lfloor i/2 \rfloor$



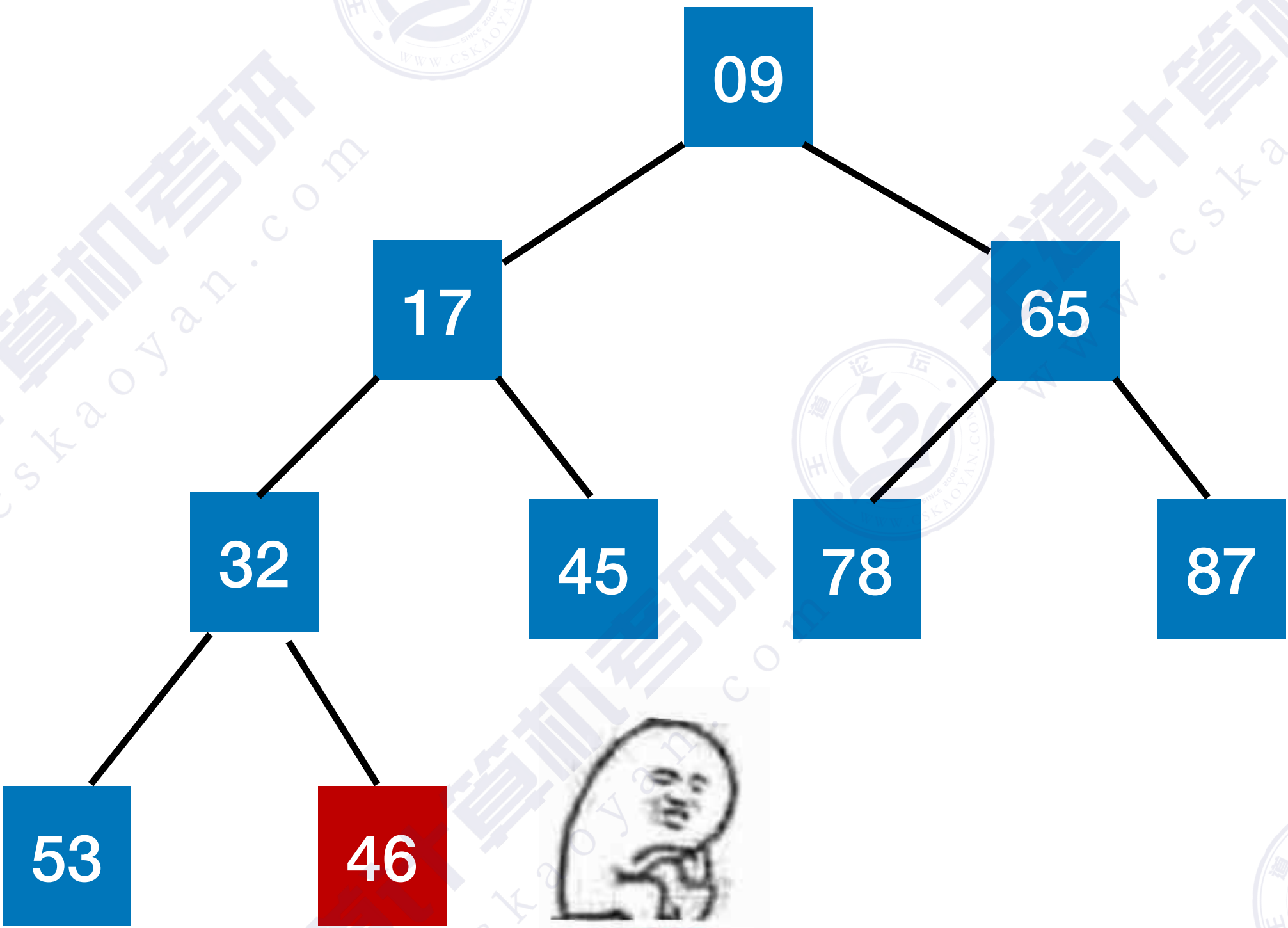
被删除的元素用堆底元素替代，然后让该元素不断“下坠”，直到无法下坠为止

在堆中删除元素

小根堆



- i 的左孩子 $2i$
- i 的右孩子 $2i+1$
- i 的父节点 $\lfloor i/2 \rfloor$



底层人员

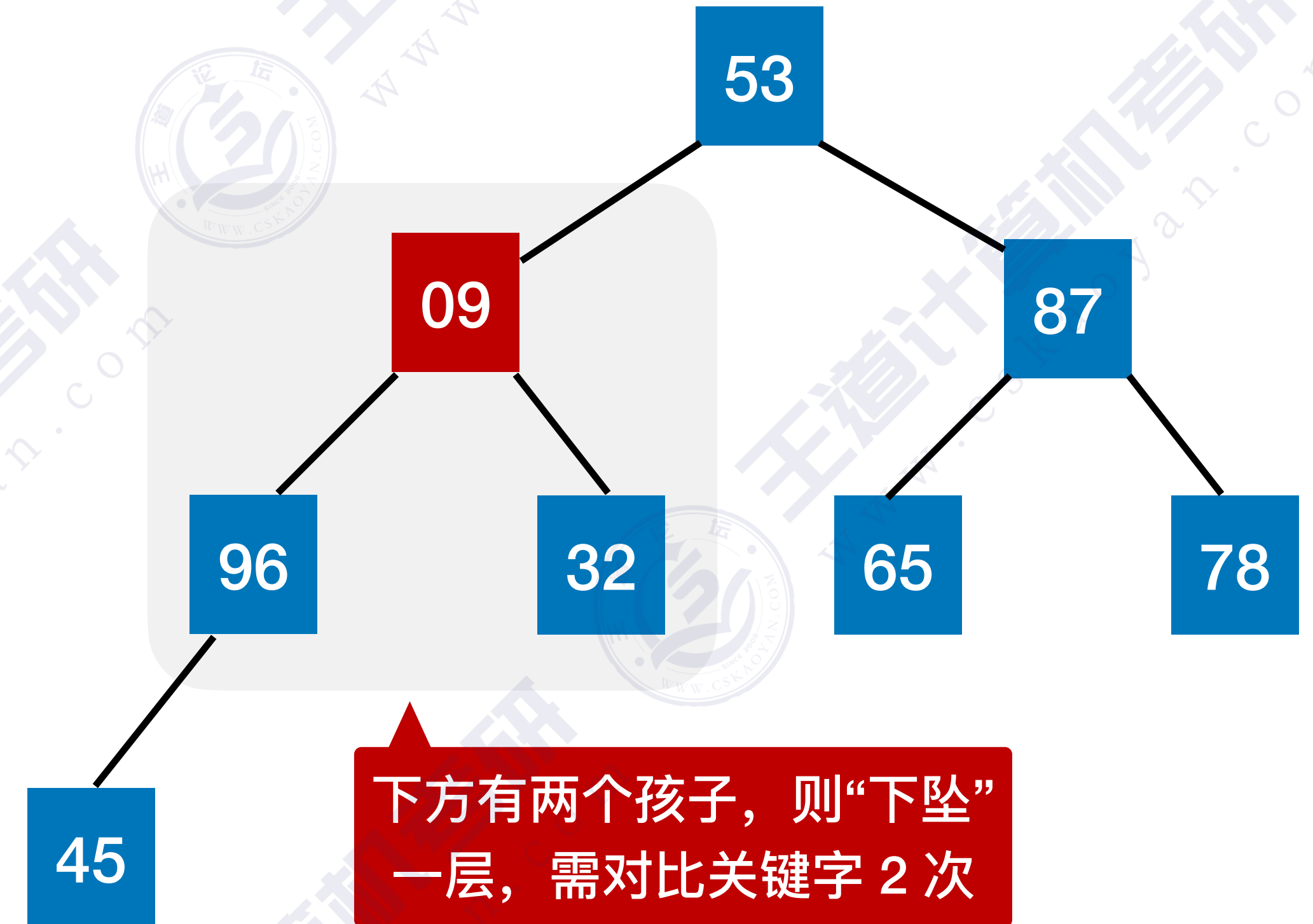
被删除的元素用堆底元素替代，然后让该元素不断“下坠”，直到无法下坠为止

对比关键字的次数 = 4次

上节PPT乱入

//将以 k 为根的子树调整为大根堆

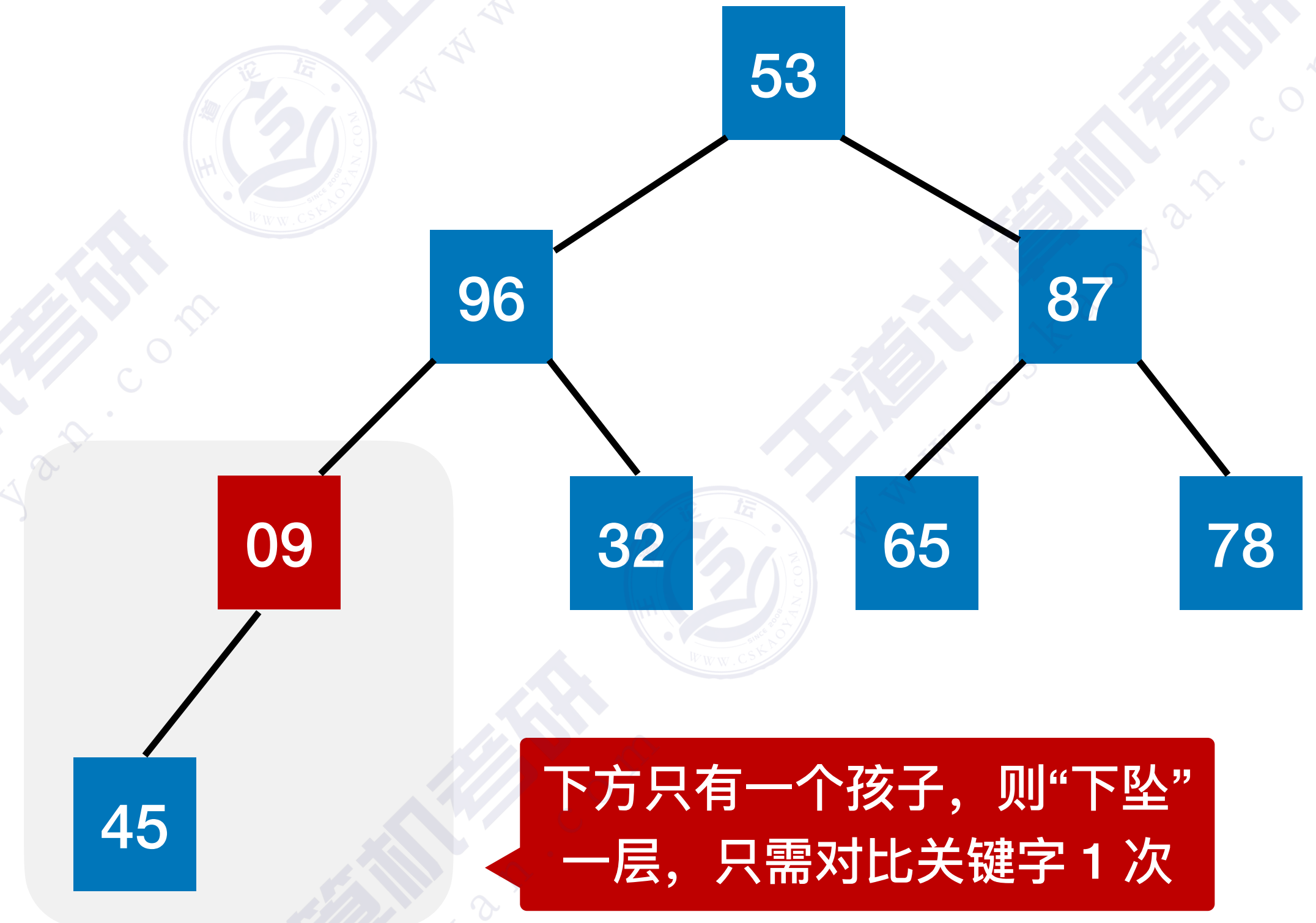
```
void HeadAdjust(int A[],int k,int len){
    A[0]=A[k];           //A[0]暂存子树的根结点
    for(int i=2*k;i<=len;i*=2){ //沿key较大的子结点向下筛选
        if(i<len&&A[i]<A[i+1])
            i++;           //取key较大的子结点的下标
        if(A[0]>=A[i]) break; //筛选结束
        else{
            A[k]=A[i];     //将A[i]调整到双亲结点上
            k=i;           //修改k值,以便继续向下筛选
        }
    }
    A[k]=A[0];           //被筛选结点的值放入最终位置
}
```



上节PPT乱入

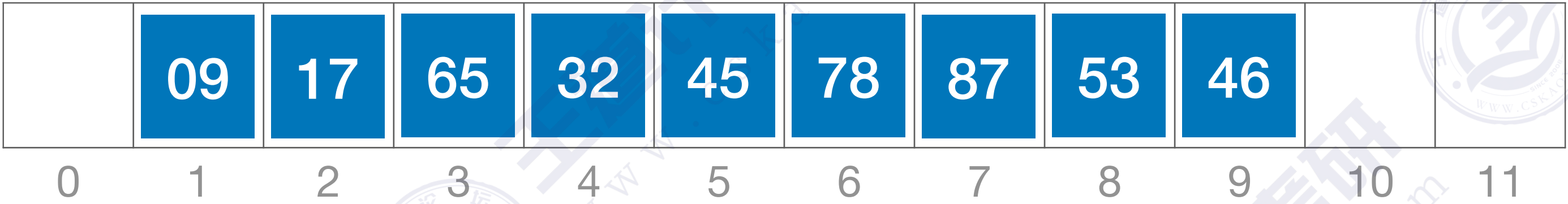
//将以 k 为根的子树调整为大根堆

```
void HeadAdjust(int A[],int k,int len){  
    A[0]=A[k];           //A[0]暂存子树的根结点  
    for(int i=2*k;i<=len;i*=2){ //沿key较大的子结点向下筛选  
        if(i<len&&A[i]<A[i+1])  
            i++;           //取key较大的子结点的下标  
        if(A[0]>=A[i]) break; //筛选结束  
        else{  
            A[k]=A[i];      //将A[i]调整到双亲结点上  
            k=i;            //修改k值,以便继续向下筛选  
        }  
    }  
    A[k]=A[0];           //被筛选结点的值放入最终位置  
}
```

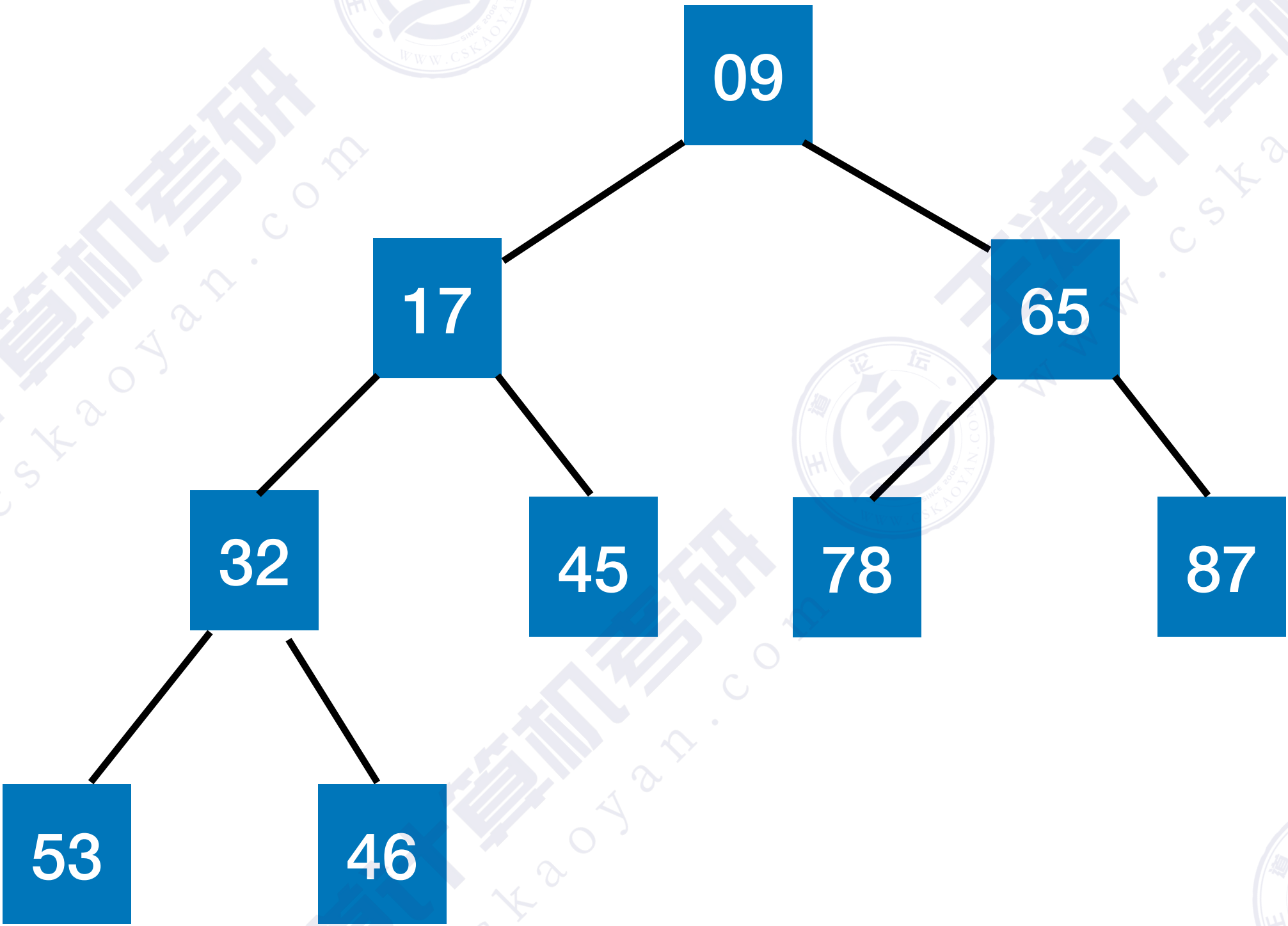


在堆中删除元素

小根堆



- i 的左孩子 $2i$
- i 的右孩子 $2i+1$
- i 的父节点 $\lfloor i/2 \rfloor$

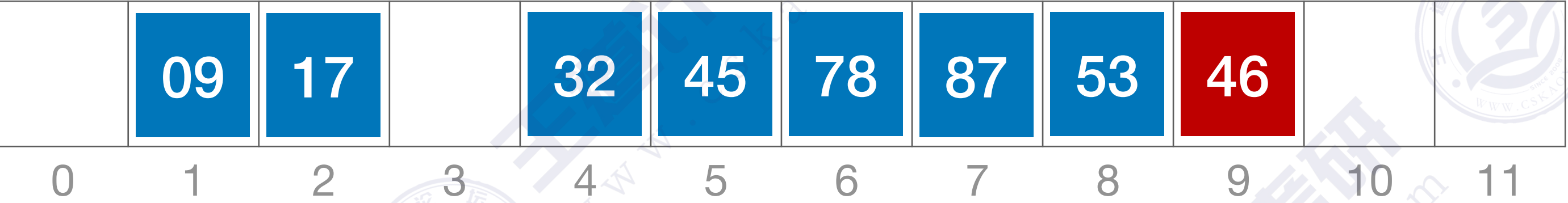


被删除的元素用堆底元素替代，然后让该元素不断“下坠”，直到无法下坠为止

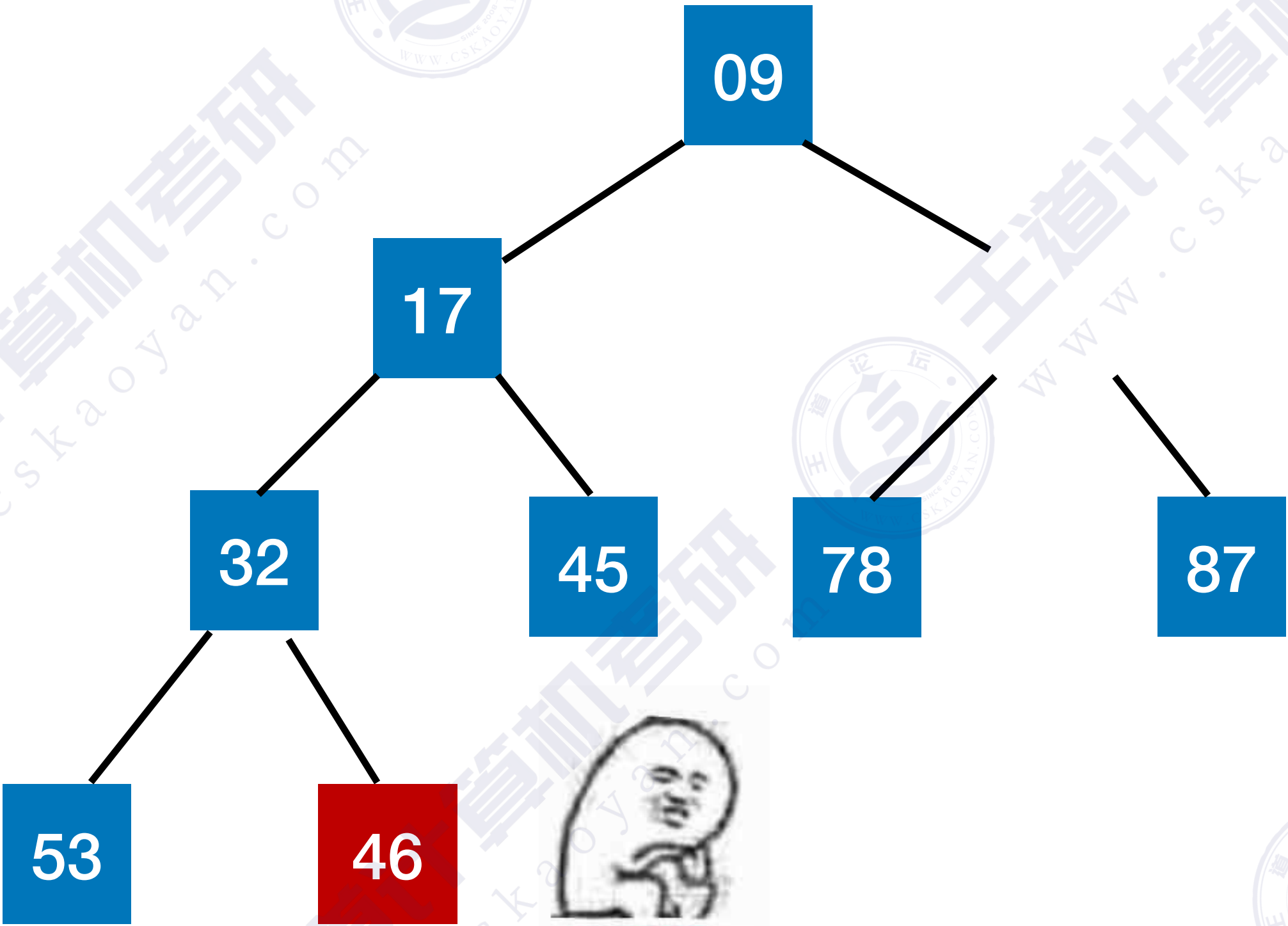
对比关键字的次数 = 4次

在堆中删除元素

小根堆



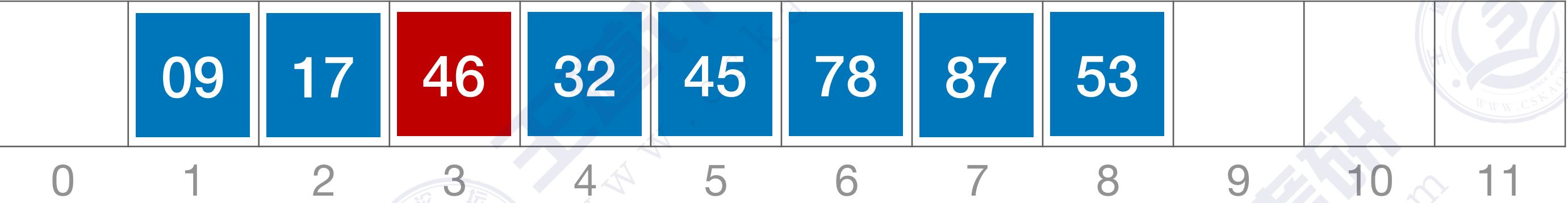
- i 的左孩子 $2i$
- i 的右孩子 $2i+1$
- i 的父节点 $\lfloor i/2 \rfloor$



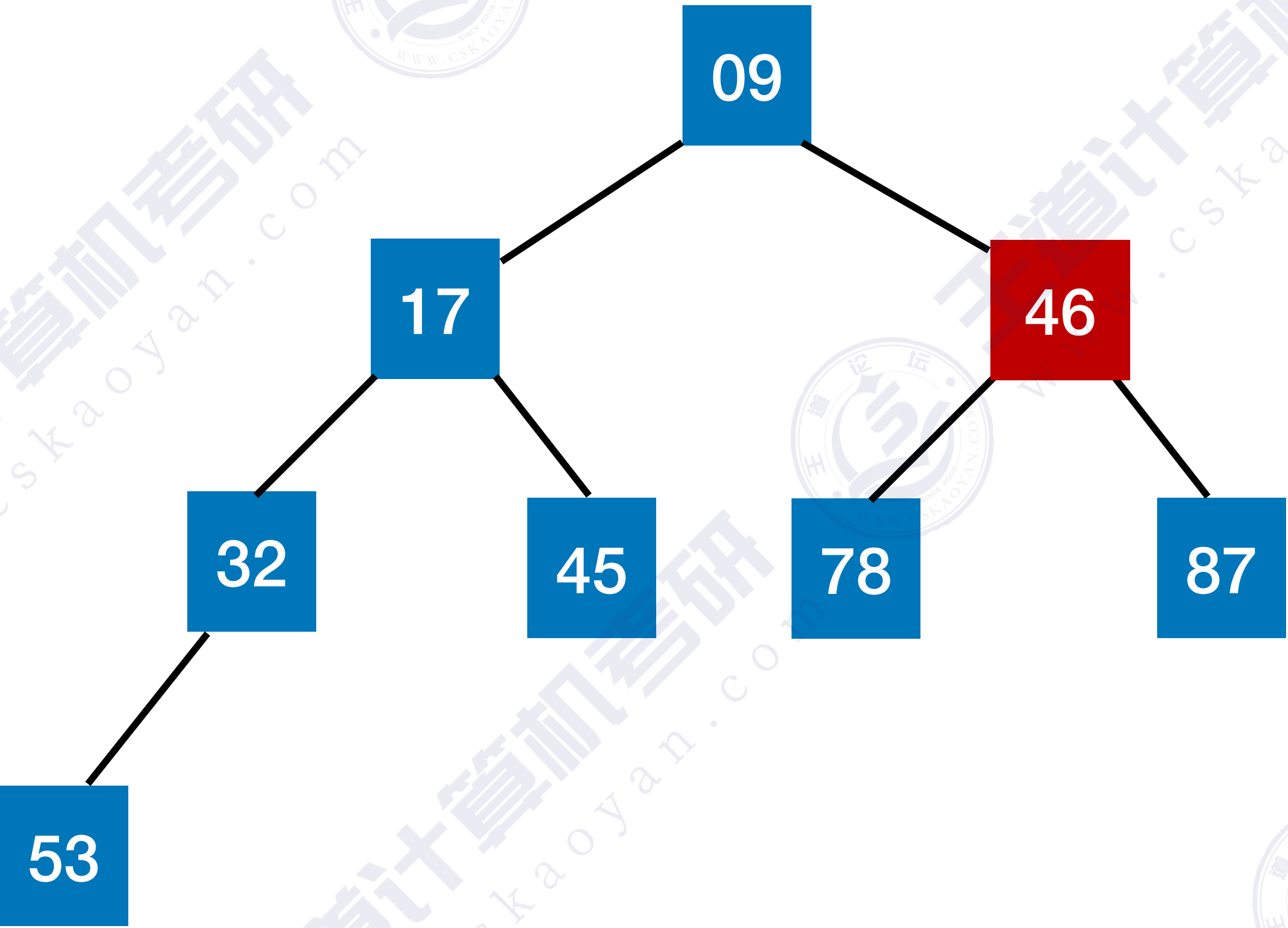
被删除的元素用堆底元素替代，然后让该元素不断“下坠”，直到无法下坠为止

在堆中删除元素

小根堆



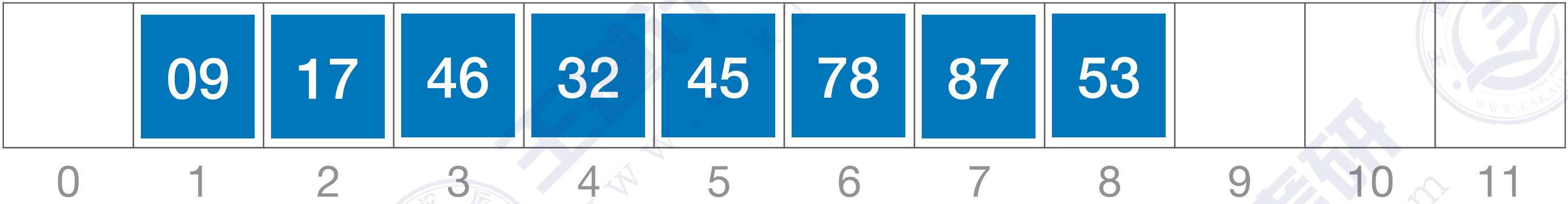
- i 的左孩子 $2i$
- i 的右孩子 $2i+1$
- i 的父节点 $\lfloor i/2 \rfloor$



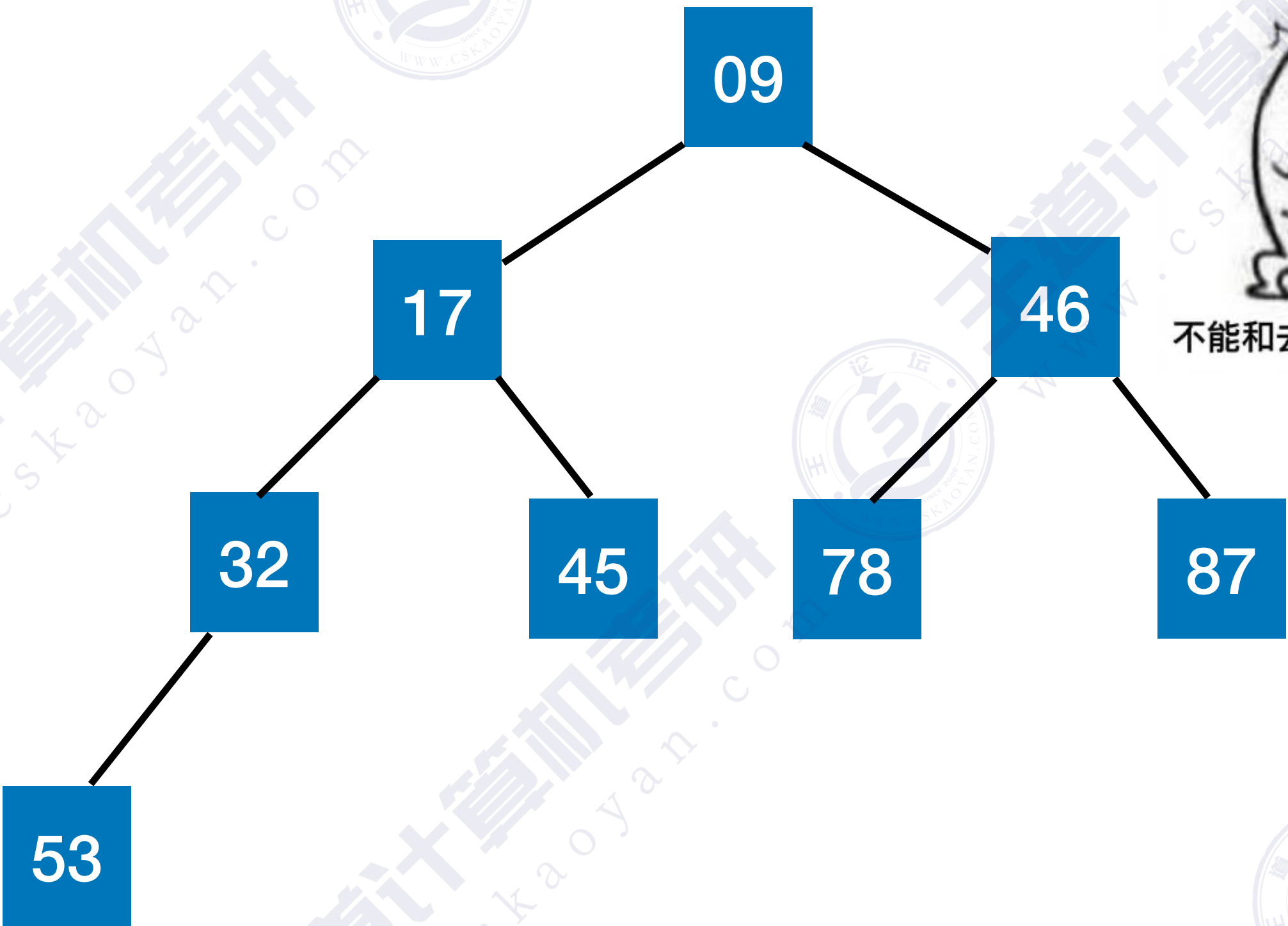
被删除的元素用堆底元素替代，然后让该元素不断“下坠”，直到无法下坠为止

在堆中删除元素

小根堆



- i 的左孩子 $2i$
- i 的右孩子 $2i+1$
- i 的父节点 $\lfloor i/2 \rfloor$



被删除的元素用堆底元素替代，然后让该元素不断“下坠”，直到无法下坠为止

对比关键字的次数 = 2次

知识回顾与重要考点

堆

插入

新元素放到表尾（堆底）

根据大/小根堆 的要求，新元素不断“上升”，直到无法继续上升为止

删除

被删除元素用表尾（堆底）元素替代

根据大/小根堆 的要求，替代元素不断“下坠”，直到无法继续下坠为止

关键字对比次数

每次“上升”调整只需对比关键字 1 次

每次“下坠”调整可能需要对比关键字 2 次，也可能只需对比 1 次

基本操作

- i 的左孩子 —— $2i$
- i 的右孩子 —— $2i+1$
- i 的父节点 —— $\lfloor i/2 \rfloor$